



Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

GZ: QM – 9A 23400000 SE 4.2.1

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23400000	GHB	RZ	0030	00	Stand: 20.11.2015

Titel der Unterlage:

Faktenerhebung Schritt 1

Erkundungsbericht über Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 auf der 750-m-Sohle im Pfeiler zwischen Abbau 5/750 Na2 und der Einlagerungskammer 7/750

Ersteller:

IBeWa

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe PL: //

Freigabe zur Anwendung:

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.



Bundesamt für Strahlenschutz

Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23400000	GHB	RZ	0030	00	Stand: 20.11.2015

Titel der Unterlage:

Faktenerhebung Schritt 1

Erkundungsbericht über Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 auf der 750-m-Sohle im Pfeiler zwischen Abbau 5/750 Na2 und der Einlagerungskammer 7/750

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer	Rev. Seite	Kat.*	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
Kategorie S = substantielle Änderung
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



PT055078



Stand: 20.11.2015

Blatt: 1

DECKBLATT

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03

Kurztitel der Unterlage:

Faktenerhebung Schritt 1 -
Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3

Ersteller / Unterschrift

IBeWa

Geprüft / Unterschrift:

Titel der Unterlage:

Faktenerhebung Schritt 1

**Erkundungsbericht über Permeabilitätsmessungen
in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3
auf der 750-m-Sohle
im Pfeiler zwischen Abbau 5/750 Na2 und der
Einlagerungskammer 7/750**

Freigabevermerk:

Freigabedurchlauf

Fachbereich: Faktenerhebung

Stabsstelle Qualitätsmanagement und
Dokumentation:

Geschäftsführung Asse-GmbH:

Unterschrift

Unterschrift

Unterschrift

REVISIONSBLATT

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	/

Kurztitel der Unterlage:

Faktenerhebung Schritt 1 -
 Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	17.09.2013	T-FE			Ersterstellung
01	29.11.2013	T-FE		-	Komplettüberarbeitung
02	22.09.2014	T-PF		-	Komplettüberarbeitung, Vorläuferdokument erstellt durch die IBeWa - Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser- und Deponietechnik, Wilsnack und Partner
03	20.11.2015	T-PF		-	Titel des Dokumentes geändert
			alle	-	Komplettüberarbeitung

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur, Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung, Kategorie S = substantielle Änderung.
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 3

Inhaltsverzeichnis

Blatt

Deckblatt.....	1
Revisionsblatt.....	2
Inhaltsverzeichnis	3
Freigabeblatt.....	4
1 Einleitung	5
2 Begriffe und Abkürzungen.....	5
3 Standort der Erkundungsbohrung.....	5
4 Mess- und Erkundungsprogramm	7
4.1 Messungen und Ergebnisse	7
4.2 Messmethodik In-situ-Permeabilitätsmessung.....	8
4.2.1 Strömungstechnische Ausgangsbedingungen	8
4.2.2 Beschreibung der Testmethode – In-situ-Permeabilitätsuntersuchungen.....	8
4.2.3 Bohrlochpackertests	9
4.2.3.1 Versuchsdurchführung	9
4.2.3.2 Versuchsausrüstung	13
4.2.3.3 Auswertung	14
4.3 Versuchsprotokolle	16
4.3.1 Prüfung der Vor-Ort-Dichtheit der Messausrüstung (Rohrtest).....	16
4.3.1.1 Dichtheitsprüfung – RT-01082013-P44P40-G	16
4.3.1.2 Dichtheitsprüfung – RT-29072013-P38P40-G	18
4.3.2 Bestimmung der In-situ-Gaspermeabilität (Bohrlochpackertest).....	20
4.3.2.1 MP A3-500-G1; Teufe: 5,00 m	20
4.3.2.2 MP A3-720-G; Teufe: 7,20 m	23
4.3.2.3 MP A3-2308-G; Teufe: 23,00 m	26
5 Zusammenfassung.....	29
6 Literaturverzeichnis	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bohrungsprofil B 7/750-A3 – durchhörte Materialien und Gesteine.....	6
Tabelle 2: Versuchsübersicht und Ergebnisse.....	7

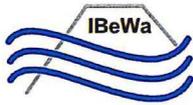
Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grubenrissausschnitt der 750-m-Sohle, Lage der Erkundungsbohrung B 7/750-A3	6
Abbildung 2: Versuchsschema der In-situ-Messung für einen Vierfachbohrlochpacker	10
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Gas- bzw. Fluidströmung (Vierfachbohrlochpacker)	10
Abbildung 4: Beispiel für einen Impulstest mit einem Mehrfachpackersystem (Vierfachbohrlochpacker)	12
Abbildung 5: Beispiel für einen Versuch mit konstantem Druck (CP) mit einem Mehrfachpackersystem(Vierfachpacker)	12
Abbildung 6: Auswahl von Packern – Durchmesser 42 mm und 70 mm.....	13
Abbildung 7: Beispiel für die erfolgte Modelldiskretisierung und eine errechnete räumliche Druckverteilung	15
Abbildung 8: Bohrloch im Bereich des Messintervalls – Teufenangaben bezogen auf Kontur (nicht Standrohr)	21
Abbildung 9: Bohrloch im Bereich des Messintervalls – Teufenangaben bezogen auf Kontur (nicht Standrohr)	24
Abbildung 10: Bohrloch im Bereich des Messintervalls – Teufenangaben bezogen auf Kontur (nicht Standrohr)	27

Anzahl der Blätter dieses Dokumentes	29
---	-----------

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <small>ASSE</small> <small>GmbH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 4

Freigabeblatt



Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser und
 Deponietechnik, Wilsnack & Partner
 Lessingstr. 46
 09599 Freiberg / Sachsen
 Tel.: +49 3731 20735 0
 Fax: +49 3731 20735 25
 Homepage: www.ibewa.de
 E-mail: th.wilsnack@ibewa.de

Freiberg, 20.11.2015

Bearbeiter/Ersteller

Freiberg, 20.11.2015

Freigabe

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03



ASSE
GmbH
Geotechnische Dienstleistungen

Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3	Blatt: 5
--	----------

1 Einleitung

Im Zuge der Faktenerhebung wurde im Bereich der Einlagerungskammern (ELK) auf der 750-m-Sohle eine Erkundungsbohrung gestoßen, die im Tiefsten die Einlagerungskammer 7 auf der 750-m-Sohle (ELK 7/750) erreicht hat.

Für die Charakterisierung der strömungstechnischen Eigenschaften des Gebirges im Bohrungsverlauf wurden In-situ-Permeabilitätsmessungen mit Gas durchgeführt. Für die Permeabilitätsmessungen wurden im Vorfeld folgende Prämissen abgestimmt:

- Der Einbau des Messpackers des Anbieters erfolgte mit dem NQ-Messgestänge der Asse-GmbH durch Mitarbeiter der Asse-GmbH. Dabei handelt es sich um einen separaten Bohrgestängesatz, der, zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppungen, ausschließlich für Sondenmessfahrten eingesetzt wird.
- Da Wetterwegsamkeiten über Klüfte zwischen der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 und ELK 7/750 nicht auszuschließen waren und da die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 die ELK 7/750 erreicht hatte, konnte eine Radonbelastung nicht a priori ausgeschlossen werden. Daher liefen die Untersuchungen bei geschlossenem Preventer. Bei Arbeiten mit offenem Preventer war das Tragen von Atemschutz erforderlich.
- Die Messungen sollten je einmal im Carnallitit, im Übergangsbereich Carnallitit-Steinsalz, im Steinsalz und im Bohrlochtiefsten erfolgen.
- Mit Ausnahme des Bohrlochtiefsten wurde ein Prüfdruck von 0,5 bis 1,0 MPa angewendet. Im Bohrlochtiefsten wurde mit einem Druck von maximal $\leq 0,25$ MPa getestet.
- Generell wurden alle Tests als Impulstests durchgeführt. Für den Test des Bohrlochtiefsten war eine erhöhte Permeabilität nicht auszuschließen. Für diesen Messpunkt wurde optional die Durchführung eines Tests mit konstantem Druck vorgesehen. Für die Durchführung des Tests im Bohrlochtiefsten wurde von der Asse-GmbH kein Abbruchkriterium für die Tests vorgegeben.

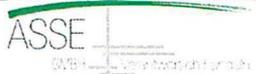
Die Untersuchungen wurden durch die Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser und Deponietechnik (IBeWa) im Auftrag der Asse-GmbH durchgeführt. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der In-situ-Permeabilitätsmessungen zusammen.

2 Begriffe und Abkürzungen

ALZ	Auflockerungszone
CP	Test mit konstantem Druck (constant pressure)
CR	Test mit konstantem Volumenstrom (constant rate)
ELK	Einlagerungskammer
IBeWa	Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser und Deponietechnik
IT	Impulstest
KAB	Konturabstand
KR	Kontrollraum (Beobachtungsintervall in der Erkundungsbohrung)
MP	Messpunkt / -intervall
OK	Oberkante
PR	Prüfraum (Messintervall in der Erkundungsbohrung)
UK	Unterkante

3 Standort der Erkundungsbohrung

Die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 wurde mit einem Durchmesser von ca. 100 mm aus dem Abbau 5/750 (Na2) mit einem leichten Einfallen von $-3,6^\circ$ in Richtung der ELK 7/750 gestoßen. Abbildung 1 zeigt die Lage der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 in einem Teilausschnitt des Grubenrisses der 750-m-Sohle. Entsprechend der Detaildarstellung ist davon auszugehen, dass die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 die ELK 7/750 in Firsthöhe erbohrt. Die Erkundungsbohrung

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 6

B 7/750-A3 hat eine Gesamttiefe von 23,20 m und ist im Teufenbereich von 0 - 3,50 m durch ein Standrohr ausgebaut und gesichert.

Das Bohrprofil wurde anhand der Kamerabefahrungen und der Kalibermessungen im Rahmen der vorausgegangenen Untersuchungen charakterisiert. In Auswertung der Kamerabefahrung durchörtert die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 die in Tabelle 1 zusammenfassend aufgeführten Materialien und Gesteine. Im Ergebnis der Kamerabefahrung und der Abstimmungen mit dem Auftraggeber ist die Bohrlochwandung unauffällig. Es wurde keine sichtbare Feuchtigkeit festgestellt. Für die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 liegt kein Kernmaterial vor.

Tabelle 1: Bohrungsprofil B 7/750-A3 – durchhörte Materialien und Gesteine

Teufenbereich [m] ¹	Material / Gestein
0 – 3,50	Standrohr
3,50 – 3,90	Baustoff
3,90 – 7,20	Carnallit
7,20 – 22,90	Steinsalz
22,90 – 23,20	Salzgrus + Beton

Im Bohrverlauf wurde an dem gewonnenen Bohrklein die Feuchte ermittelt. Diese liegt bei der Asse-GmbH vor.

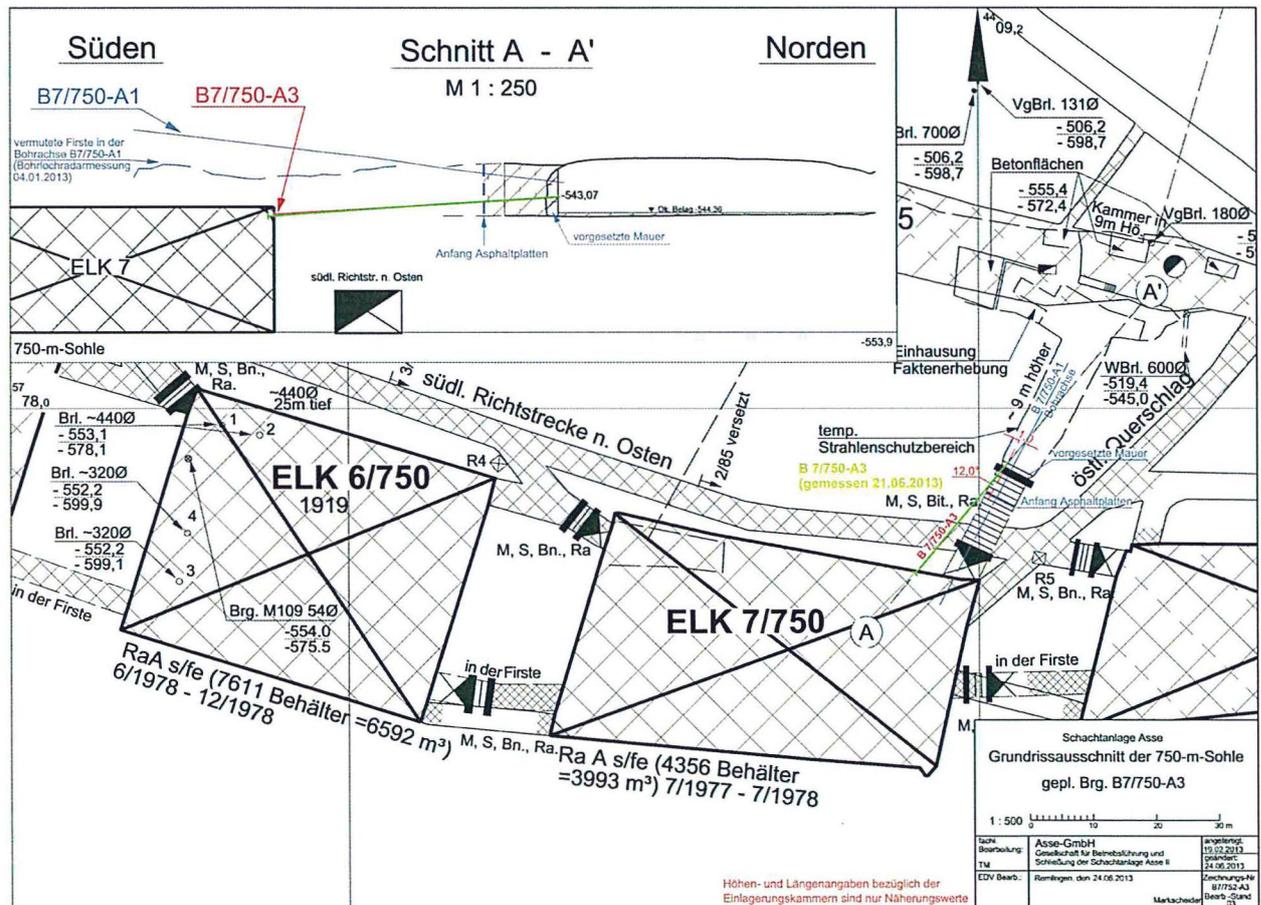


Abbildung 1: Grubendrissausschnitt der 750-m-Sohle, Lage der Erkundungsbohrung B 7/750-A3

¹ Teufenangaben gelten mit Bezug auf das Standrohrende am Bohransatzpunkt
Textblatt_REV08_Stand-2014-01-03

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.		
NNAA	NNNNNNNNNN	NAAAANN	AA	AA	NNNN	NN		
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3	
								Blatt: 7

4 Mess- und Erkundungsprogramm

4.1 Messungen und Ergebnisse

Die Messmethodik für die In-situ-Permeabilitätsmessungen ist in Kapitel 4.2 erläutert.

Die Untersuchungen wurden entsprechend der Aufgabenstellung mit folgender Versuchskonfiguration durchgeführt:

- Doppelpacker für Bohrlöcher bis \varnothing 105 mm,
- Testfluid: trockene Druckluft,
- Testregime: Impulstest und Test mit konstantem Druck, Prüfdruck 0,5 bis 1,0 MPa; Bohrloch-tiefstes \leq 0,25 MPa.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht der Versuche und der Versuchskonfiguration.

Für die Testintervalle liegen keine Kenntnisse zum Lösungsgehalt und der totalen Porosität vor. Unter diesen Bedingungen müssen die ermittelten Permeabilitäten als effektive Gaspermeabilitäten (Permeabilität für den jeweiligen Sättigungszustand) angesehen werden.

Tabelle 2: *Versuchsübersicht und Ergebnisse*

IT – Impulstest; CP – Test mit konstantem Druck (constant pressure)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Messpunkt	Geologie	Teufe MP ⁽²⁾	Prüffluid	Testmethodik	Prüfdruck (absolut)	Packerseitzdruck	Länge Prüfraum-Intervall	effektive Gas-permeabilität	Bemerkung
-		[m]	-	[-]	[MP a]	[MP a]	[m]	[m ²]	-
MP1	Carnallit	5,00	Gas	IT	0,92	19,8	0,39	2,0E-16	
MP2	Carnallit / Steinsalz	7,20		IT	0,96	19,7	0,39	6,0E-21	
MP3	Steinsalz	-		-	-	-	-	-	-nicht gemessen
MP4	Steinsalz / Versatz / Beton	23,00		CP	0,11	20,1	0,24	1,1E-12	-integraler Messpunkt bis Endteufe, mit Kontrollraum

Die Permeabilitätsmessung im Carnallit am Messpunkt 1 (MP1) bei 5,00 m weist mit 2,0E-16 m² eine relativ hohe effektive Gaspermeabilität nach. Einen visuellen Eindruck zur Situation im Testintervall wird in Abbildung 8 gegeben. Es wird vermutet, dass dies nicht auf eine primär erhöhte Permeabilität des anstehenden Carnallits, sondern auf die Nähe⁽³⁾ zur Streckenkantur zurückzuführen ist. Bedingt durch die Gewinnungsarbeiten und die zeitabhängige Änderung des

⁽²⁾Die Angabe der Teufe des Messpunktes beinhaltet den Mittelpunkt des Prüfraumes in der Bohrlachse zwischen den beiden Packern. Die Koordinaten der Bohrung beziehen sich auf Angaben von der Asse-GmbH. Der Einbau der Packerapparatur wurde durch Mitarbeiter der Bohrabteilung Asse-GmbH durchgeführt.

⁽³⁾Die im Rahmen der Faktenerhebung erfolgenden Untersuchungen (z.B. verschiedene Radarmessungen) dienen u. a. dem Ziel, die Angaben des vorhandenen Risswerkes, dessen Datengrundlage z. T. noch aus den 1920er Jahren stammt, zu verifizieren. Eine genaue Angabe des seitlichen Abstandes der Bohrlachse zur heutigen Stoßkontur des Querschlag zwischen Abbau 5/750 Na2 und ELK 7/750 ist daher nicht möglich. Aufgrund des spitzwinkligen Verlaufes der Bohrung B 7/750-A3 zum Querschlag kann der Abstand nur in der Größenordnung einiger Dezimeter bis weniger Meter (mit steigender Tendenz bei zunehmender Bohrlachslänge) liegen.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 8

Gebirgsspannungszustandes über die nachfolgende Standzeit der Grubenbaue sind im näheren Umfeld bergmännischer Auffahrungen stets Gebirgsauflockerungen, verbunden mit zunehmender Porosität und Permeabilität, zu verzeichnen.

In einer Teufe von 7,20 m wurde am MP2 mit $6E-21 \text{ m}^2$ eine deutlich geringere effektive Gaspermeabilität für den Kontaktbereich von Carnallit und Steinsalz ermittelt. Abbildung 9 gibt einen Eindruck zur Situation im Bereich des Testintervalls.

Im Bohrlochtiefsten erreicht die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 einen Bereich, der nach den Kamerabefahrungen und Magnetikmessungen im Bohrloch aus Steinsalzversatz und einem Betonabschnitt im Konturbereich der ELK 7/750 besteht (s. Kapitel 4.3.2.3 und Abbildung 10). In Auswertung eines Tests mit konstantem Druck wurde für diesen Bohrlochabschnitt eine gegenüber den anderen Messungen deutlich erhöhte effektive Gaspermeabilität von $1,1E-12 \text{ m}^2$ nachgewiesen. Diese entspricht Erwartungswerten für kompaktierten Steinsalzversatz und steht maßgeblich mit dem unverdichteten Einbau des Versatzmaterials in der Kammer, möglicherweise auch mit Zwickelhohlräumen zwischen Gebinden innerhalb der angeschlossenen ELK 7/750 bzw. zwischen Versatzmaterial und Kammerfirste in Verbindung. Wie oben für den ersten Messpunkt bereits erwähnt, sind auch im unmittelbaren Konturbereich der ELK 7/750 gegenüber dem unverritzten Gestein in erhöhtem Maße Gebirgsauflockerungen (Dilatanz) und Abschalungen zu erwarten, so dass die Porosität und Permeabilität erhöht sein können.

4.2 Messmethodik In-situ-Permeabilitätsmessung

4.2.1 Strömungstechnische Ausgangsbedingungen

Die Ausgangssituation für Permeabilitätsuntersuchungen in Bohrungen im Salinargebirge lässt sich wie folgt charakterisieren:

- Das ungestörte Salinargebirge besitzt eine sehr geringe Permeabilität. In Abhängigkeit von der geologischen Situation, den bergtechnischen Standortgegebenheiten und der Änderung des Gebirgsspannungszustandes kann diese Permeabilität konturnah erhöht sein. Dieser Bereich wird allgemein als Auflockerungszone bezeichnet. Bedingt durch den Bohrprozess muss auch für die eine Erkundungsbohrung B 7/750-A3 von einer Auflockerung entlang des Bohrungsverlaufes ausgegangen werden.
- Grundsätzlich kann Salinargebirge als trocken angesehen werden. Der Eintrag von Feuchtigkeit muss durch die Verwendung von trockener Luft als Spülfluid und einen umgehend feuchtedichten Verschluss des Bohrloches durch einen geeigneten Einfachpacker verhindert werden. In Abhängigkeit von der petrographischen Zusammensetzung des untersuchten Gebirges und der Standzeit der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 ist das Vorhandensein von Feuchtigkeit im Umfeld des Messpunktes trotz der oben genannten Maßnahmen nicht auszuschließen. Für diese Bedingungen sind die ermittelten Permeabilitäten als effektive Gaspermeabilitäten anzusehen, und gegebenenfalls die Ermittlung von Flüssigkeitspermeabilitäten zu prüfen.

4.2.2 Beschreibung der Testmethode – In-situ-Permeabilitätsuntersuchungen

In-situ-Permeabilitätsuntersuchungen stellen strömungstechnische In-situ-Versuche dar, bei denen ein instationärer Strömungsprozess von Gas oder Flüssigkeit im Porenraum des zu untersuchenden Gebirges angeregt und in seinem zeitlichen Verlauf erfasst wird. Die Auswahl des Strömungsfluides erfolgt anwendungs- und aufgabenbezogen.

Gas stellt für viele Strömungsprozesse ein gegenüber dem Strömungsraum inertes Strömungsfluid dar⁽⁴⁾ und wird daher bevorzugt für In-situ-Permeabilitätsuntersuchungen eingesetzt (z.B. [1], [2],

⁽⁴⁾ ggf. ist die Berücksichtigung von Trocknungsprozessen sowie Wechselwirkungen mit dem Feststoff und der Porenflüssigkeit erforderlich

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 9

[3], [4], [5], [6], [7], [8]). Im Folgenden wird nur auf In-situ-Permeabilitätsuntersuchungen mit Gas eingegangen, da unter den konkreten Standortbedingungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 nach den aus anderen Untersuchungen vorab vorliegenden Kenntnissen davon auszugehen war, dass das im unmittelbaren Umfeld der Bohrlochachse anstehende Salzgebirge trocken war und daher durch Gaspermeabilitätsuntersuchungen das Permeabilitätsverhalten des Gebirges ermittelt werden konnte.

Die In-situ-Permeabilitätsuntersuchungen können prinzipiell durchgeführt werden als:

- Impulstest / pulse test (IT),
- Test mit konstantem Druck / constant pressure test (CP) und
- Test mit konstanter Rate / constant rate test (CR).

Die Testmethoden unterscheiden sich im zeitlichen Verlauf der Druckbeaufschlagung. Beim Impulstest wird das Testintervall (Prüfraum) mit einem zeitlich kurzen Druckimpuls beaufschlagt. Für einen Versuch mit konstantem Druck wird das Testintervall permanent mit einem konstanten Druck beaufschlagt, wogegen bei einem Versuch mit konstanter Rate permanent bei konstantem Volumenstrom beaufschlagt wird.

Für die Versuche in Messbohrungen (Bohrlochpackertests, Kapitel 4.2.3) erfolgt die Erfassung des Druckverlaufes im Testintervall (Prüfraum) und, je nach Packerausrüstung, auch in weiteren, durch Packer abgeschlossenen Intervallen (Kontrollräume). Bei dem Versuch mit konstantem Druck wird zusätzlich der sich über den Messzeitraum verändernde Volumenstrom erfasst. Die Versuchsausrüstung wird in Kapitel 4.2.3.2 näher erläutert.

Die Versuchsdaten werden kontinuierlich über den gesamten Versuchsverlauf aufgezeichnet, wobei die Mess- und Erfassungsfrequenzen dem Druckverlauf so angepasst werden, dass Bereiche großer Veränderungen mit einem angemessenen Messtakt dokumentiert werden (Messtaktfrequenz minimal 1 Hz).

4.2.3 Bohrlochpackertests

4.2.3.1 Versuchsdurchführung

Bei den Bohrlochpackertests wird, nach der Prüfung der Vor-Ort-Dichtheit der Messausrüstung, die Packergarnitur (Kapitel 4.2.3.2) in die Messbohrung eingebaut und an die Messapparatur angeschlossen. Bei der sich anschließenden Druckbeaufschlagung wird das Testintervall in der Bohrung in radialer Richtung angeströmt.

Bei Vierfachpackersystemen, wie in Abbildung 2 dargestellt, ermöglicht die Anordnung der einzelnen Packerelemente die Abgrenzung mehrerer Bohrlochabschnitte als Prüf- und Kontrollräume.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03



Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3	Blatt: 10
--	-----------

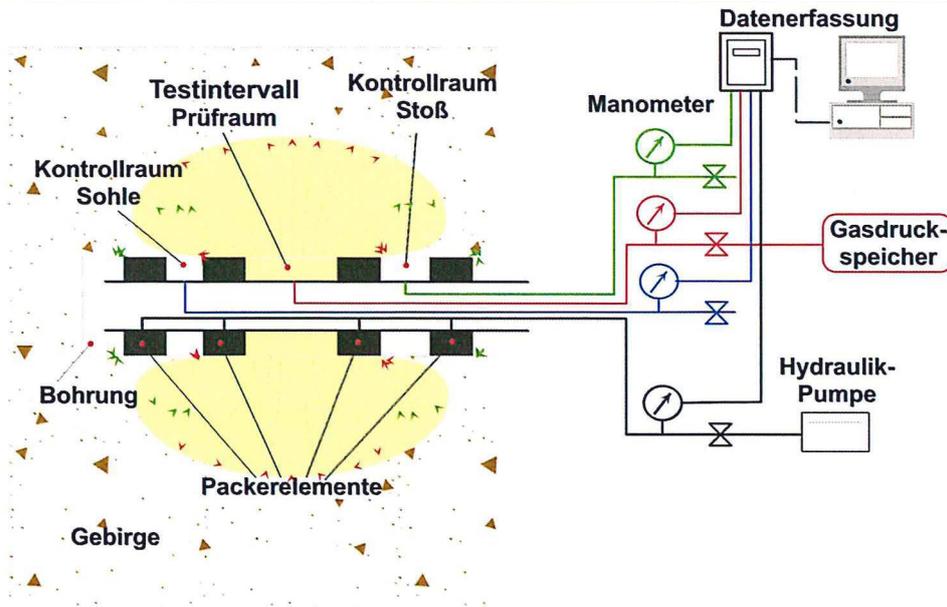


Abbildung 2: Versuchsschema der In-situ-Messung für einen Vierfachbohrlochpacker

Die Anordnung der Prüf- und Kontrollräume und das angewendete Druckregime führen zu einer zylinder- bis kugelförmigen Strömung im Gebirge, wie sie schematisch in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt ist.

In Abhängigkeit von der Permeabilität des Gebirges und einer nicht auszuschließenden sekundären Auflockerungszone um die Messbohrung, kommt es zu Druckreaktionen in den Kontrollräumen (Abbildung 3) und in der Folge zu sich überlagernden Strömungsprozessen (Interferenz).

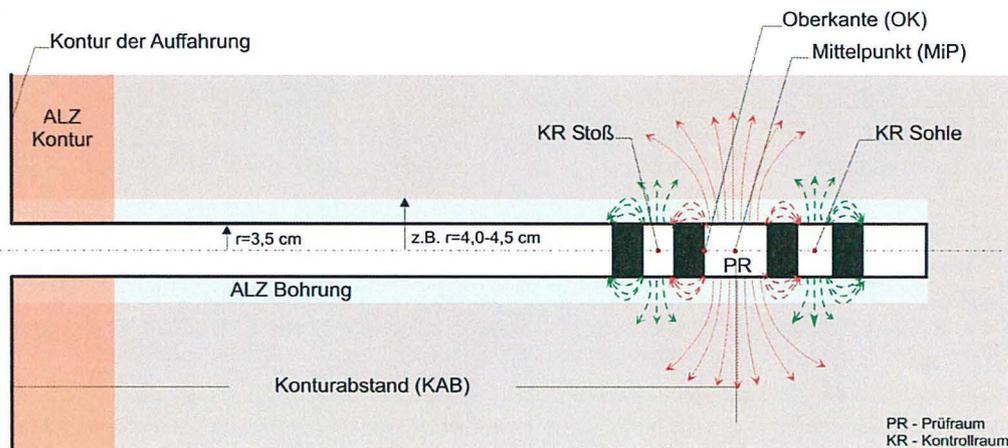


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Gas- bzw. Fluidströmung (Vierfachbohrlochpacker)

In Abhängigkeit von der Versuchskonfiguration und dem Messverlauf, können Erkenntnisse zur Permeabilität des Gebirges und einer ggf. vorhandenen sekundären Auflockerungszone um die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 gewonnen werden.

Ausgehend von der Beschreibung des Messverfahrens in Kapitel 4.2.2 werden die einzelnen Arbeitsschritte, wie sie für die Ermittlung der In-situ-Gaspermeabilität Anwendung finden, nachfolgend kurz erläutert.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 11

Impulstest:

Die Impulstests für die Gaspermeabilitätsbestimmung werden in folgenden Teilschritten durchgeführt:

- Einbau des Packers in Testrohr für Dichtheitstest und Drucktest (Nachweis der Dichtheit der Versuchsausrüstung),
- Einbau des Packers am Messpunkt, ggf. mechanische Sicherung des Packers im Bohrloch (z.B. bei Beaufschlagung der Bohrung),
- Setzen des Packers; Beobachtungsphase zur Gewährleistung eines vollständigen Setzens des Packers,
- Zuschalten eines Druckflüssigkeitsspeichers zur Pufferung des Packersetzdruckes,
- Druckimpuls auf die Prüfkammer des Packers,
- zeitabhängige Messung des Prüfdruckes und der Druckreaktion in den Kontrollräumen sowie des Luftdruckes, des Packerdruckes und der Temperatur am Versuchsort,
- modellgestützte Auswertung der gemessenen Druckverläufe unter Berücksichtigung der Kenntnisse zum Messpunkt, zur Versuchskonfiguration, zum Strömungsfluid und zum Messverlauf.

Test mit konstantem Druck:

Die Tests mit konstantem Gasdruck werden in folgenden Teilschritten realisiert:

- Einbau des Packers in Testrohr für Dichtheitstest und Drucktest (Nachweis der Dichtheit der Versuchsausrüstung),
- Einbau des Packers am Messpunkt, ggf. mechanische Sicherung des Packers im Bohrloch (z.B. bei Beaufschlagung der Bohrung),
- Setzen des Packers; Beobachtungsphase zur Gewährleistung eines vollständigen Setzens des Packers,
- Zuschalten eines Druckflüssigkeitsspeichers zur Pufferung des Packersetzdruckes,
- Druckbeaufschlagung des Prüfraumes mit einem konstanten Druck (aus einer externen Druckluftflasche),
- zeitabhängige Messung des Prüfdruckes und der Druckreaktion in den Kontrollräumen sowie des Druckes in der Druckluftquelle, des Gasvolumenstromes, des Luftdruckes, des Packerdruckes und der Temperatur am Versuchsort,
- modellgestützte Auswertung der gemessenen Druck- und Volumenstromverläufe unter Berücksichtigung der Kenntnisse zum Messpunkt, zur Versuchskonfiguration, zum Strömungsfluid und zum Messverlauf.

Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen Beispiele für die gemessenen Druckganglinien und die rechnerische Anpassung für einen Impulstest und einen Test mit konstantem Druck.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03

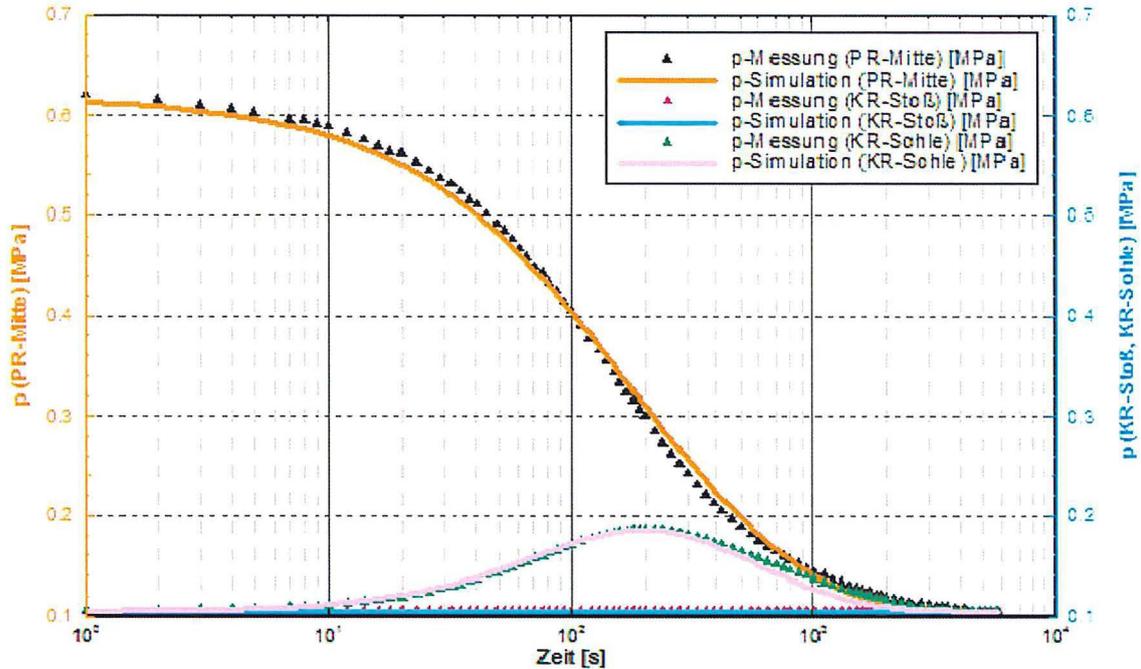


Abbildung 4: Beispiel für einen Impulstest mit einem Mehrfachpackersystem (Vierfachbohrlochpacker)

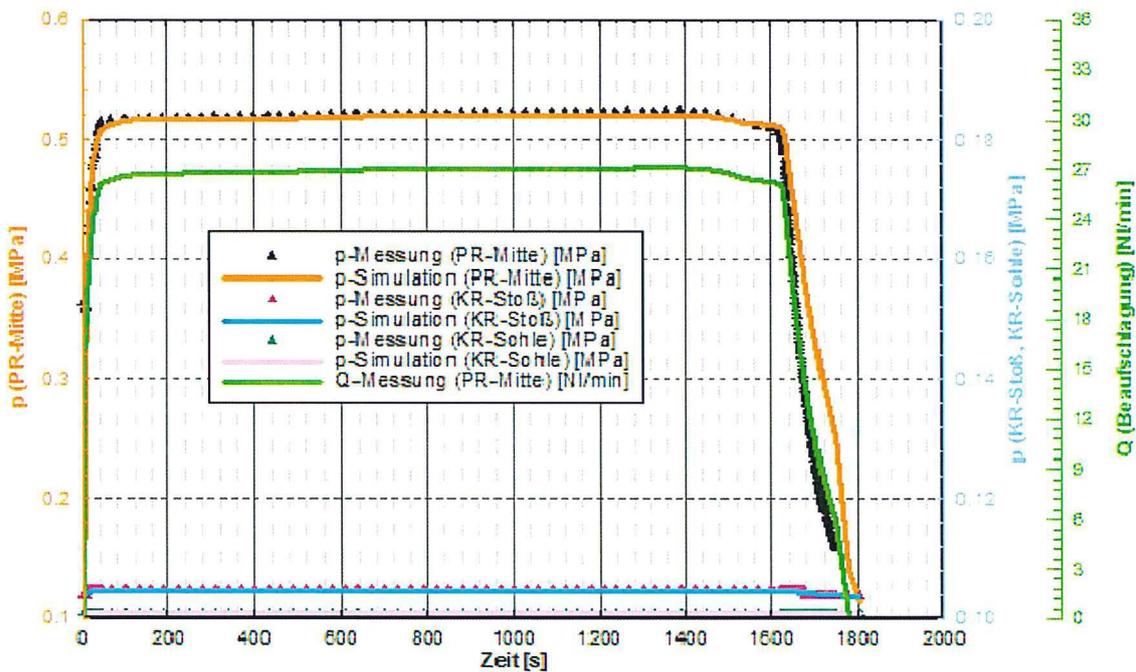


Abbildung 5: Beispiel für einen Versuch mit konstantem Druck (CP) mit einem Mehrfachpackersystem (Vierfachpacker)

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	

Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3	Blatt: 13
--	-----------

4.2.3.2 Versuchsausrüstung

Für die In-situ-Untersuchung der Permeabilität stehen Packergarnituren (4-fach, 2-fach und 1-fach) für Bohrungsdurchmesser von 42 mm und 70 mm, sowie spezielle Zweifachpackergarnituren für Bohrungsdurchmesser von 36 - 46 mm, 66 - 76 mm, 95 - 105 mm und 127 - 137 mm zur Verfügung. Die Intervalllängen betragen 0,04 m bis 1,0 m. Einige Packer sind mit zentralem Durchgang zur Beaufschlagung des Bohrlochtiefsten ausgestattet. In Abbildung 6 sind einige Packer dargestellt. Für Untersuchungen mit Gas können gleichzeitig Messungen an bis zu drei Standorten oder auch Interferenzmessungen in mehreren Bohrungen durchgeführt werden.

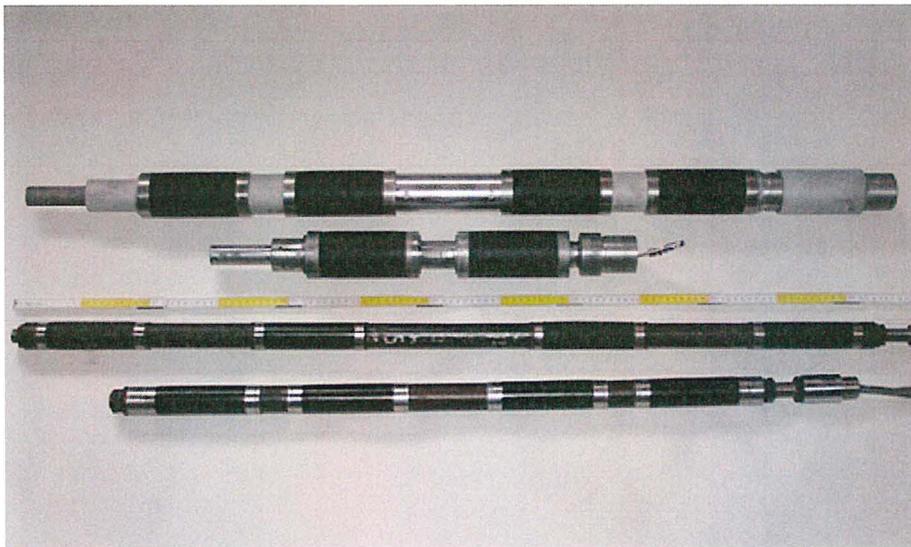


Abbildung 6: Auswahl von Packern – Durchmesser 42 mm und 70 mm

Für Permeabilitätsuntersuchungen über einen längeren Bohrungsabschnitt als Testintervall (Beaufschlagung der Bohrung) kommen in der Regel Mehrfachpackersysteme mit zentralem Durchgang zum Einsatz. Diese werden im Bohrloch hydraulisch verspannt und der vor der Packergarnitur entstandene Druckraum (bis zum Bohrlochtiefsten) beaufschlagt. Die Länge des Prüflintervalls ist variabel und richtet sich nach der Entfernung des ersten Packersegmentes vom Bohrlochtiefsten. Bei dem beschriebenen Versuchsaufbau ist in jedem Fall eine Sicherung der Packergarnitur durch ein Widerlager am Bohrlochansatz (Überwurfloch und Gebirgsanker) erforderlich.

Die Durchführbarkeit der Gaspermeabilitätsuntersuchungen ist abhängig von der Teufe der Messpunkte, der Qualität der Messbohrung und dem Bohrungsdurchmesser und muss daher standortbezogen geprüft und konzipiert werden. Messungen in tieferen Bohrungen ($L > 25$ m) können für Gas und teilweise auch für Lösung bis in eine Teufe von ca. 75 m durchgeführt werden. Dies ist derzeit auf den Einsatz von Zweifachpackern beschränkt.

Die verwendeten Packerausrüstungen werden vor jedem Einsatz einer Dichtheitsprüfung unterzogen. Bei längeren Messprogrammen erfolgt in regelmäßigen Abständen ein Dichtheitstest der Packergarnituren vor Ort. Neben dieser Dichtheitsprüfung kann für die Messungen ein mit Tetrafluorethan dotiertes Gas eingesetzt werden, welches über den Testverlauf am Bohrlochmund bzw. an Leckstellen detektiert werden kann. Bereits geringste Spuren ($> 1,5$ ppm) dieses Gases können durch den verwendeten Detektor identifiziert werden und geben einen Hinweis auf eine Undichtheit des Packersystems bzw. eine Umströmung des Packers.

Für die Erfassung der zeitlichen Druckentwicklung in den einzelnen Druckkammern (Intervalle) und den Packern kommen piezoresistive Drucksensoren (Genauigkeit: i.d.R. 0,1% bis 0,2%) zum Einsatz, die den jeweiligen Druckbereichen angepasst werden.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 14

Die In-situ-Permeabilitätsuntersuchungen können für unterschiedliche Gase durchgeführt werden. Die dabei eingesetzte Messapparatur, bestehend aus Druckregel-, Druckmess- und Datenerfassungseinheit, unterscheidet sich bei Impulstests (IT) und Tests mit konstantem Prüfdruck (CP) nur geringfügig voneinander (externe 20 MPa Druckluftquelle bei CP). Alle Komponenten sind aus korrosionsbeständigen Materialien gefertigt.

4.2.3.3 Auswertung

Für die Ermittlung der Permeabilität wird für jeden Versuch ein zweidimensionales Modell mit r - φ - z Geometrie (r - z Schnitt) aufgebaut, welches die Kenntnisse zum geometrischen Aufbau des Strömungsraumes sowie die Eigenschaften des Strömungsfluides berücksichtigt. Der Modellraum wird beliebig fein diskretisiert, wobei in r -Richtung der Radius ausgehend von der Bohrungsachse und in z -Richtung der Abstand zur Gebirgskontur aufgetragen werden (Abbildung 7). Mit einem speziellen Programmsystem erfolgt über die numerische Lösung der partiellen Differentialgleichung für die zweidimensionale Strömung für das Testfluid die Berechnung des Strömungsvorgangs. Das Programm ermöglicht auf der Grundlage der Kenntnis der geologischen Struktur und der Gebirgsparameter, der rheologischen Eigenschaften des strömenden Fluides und der Geometrie der Testausrüstung die Identifikation der Permeabilität im getesteten Strömungsraum. Die Parameteridentifikation wird mit einem gewählten Permeabilitätswert für alle Elemente des Modells gestartet. In einem Iterationsprozess wird über die Variation der Parameterbelegung die Permeabilität des Gebirges im Bereich des getesteten Bohrungsabschnittes ermittelt, für welche die gemessenen und berechneten Druckganglinien die beste Übereinstimmung zeigen. Die Zielfunktion der Anpassung ist die Minimierung der Fehlerquadratsumme für die gemessenen und berechneten Druckverläufe. In die Auswertung und Interpretation dieser Berechnungsergebnisse werden die strukturellen geologischen Informationen und Parameter mit einbezogen.

In Abbildung 7 ist beispielhaft für einen Packertest ein homogenes Modell zur Abbildung der radial-symmetrischen Fluidströmung mit der Diskretisierung und der berechneten räumlichen Druckverteilung zu einem Zeitpunkt nach der Druckbeaufschlagung (im Beispiel nach 78.300 s, also 21 h und 45 min) dargestellt. Wie die Abbildung verdeutlicht, ist das von der Druckbeaufschlagung beeinflusste Raumvolumen zumindest bei niedrigen Permeabilitätswerten (kleiner als $1E-16 \text{ m}^2$) sehr begrenzt (Radius zirka 0,8 m). In diesem Fall kann es in guter Näherung als homogen betrachtet werden.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03

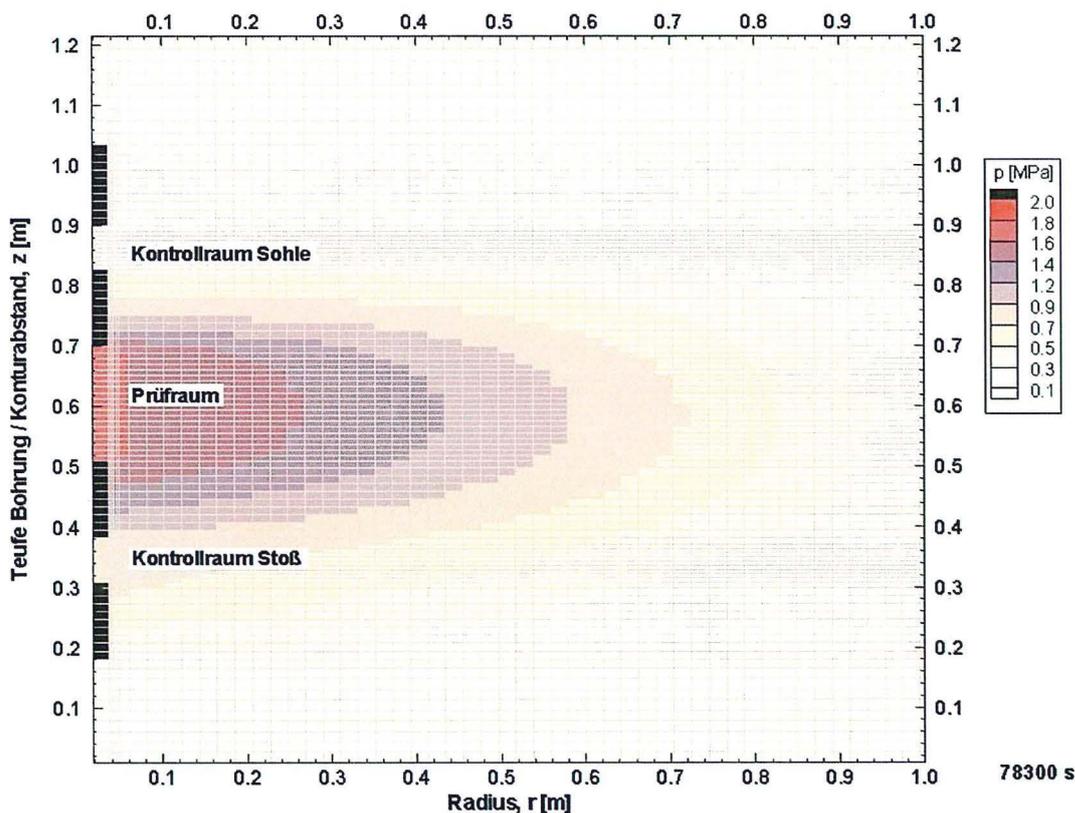


Abbildung 7: Beispiel für die erfolgte Modelldiskretisierung und eine errechnete räumliche Druckverteilung
 rot: hoher Druck ausgehend vom Prüfraum bzw. Testintervall
 weiß: anfänglicher (niedrigerer) Druck im Gebirge

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	

Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3	Blatt: 16
--	-----------

4.3 Versuchsprotokolle

4.3.1 Prüfung der Vor-Ort-Dichtheit der Messausrüstung (Rohrtest)

4.3.1.1 Dichtheitsprüfung – RT-01082013-P44P40-G

Allgemeine Angaben

Projekt:	Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3
Auftraggeber:	Asse-GmbH, Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II, Am Walde 2, 38319 Remlingen
Bearbeiter:	IBeWa-Ingenieurpartnerschaft, Lessingstr. 46, D-09599 Freiberg, Germany, Tel.: +49 3731 – 20735 0, Fax: +49 3731 - 20735 25, web: www.ibewa.de
Standort:	Faktenerhebung auf der 750-m-Sohle, Abbau 5 (Na2), Erkundungsbohrung B 7/750-A3 in Richtung der Einlagerungskammer 7/750

Prüfungsbedingungen

Prüfrohr:	Testrohr-70-A3	Packerausrüstung:	Zweifachpacker, 66-80 mm, Multi-PR (44)
Rohrdurchmesser [mm]:	70	Versuchsart:	Rohrtest (techn. Dichtheit)
Testbezeichnung:	RT-01082013-P44-G	Testfluid:	Druckluft, trocken [G]
Bearbeiter:		Sensorkonfiguration:	350/5a/5a/L/T
Datum:	01.08.2013	Leitungslänge [m]:	46
Beaufschlagung mit Prüfdruck:	Bohrung	Messdatei:	RT-01082013-P44P40-G
Bemerkung:	<ul style="list-style-type: none"> - Nachweis hinreichender Dichtheit für Pneumatiksystem - Packer wurde nach der Messung mit Dichtelement Ø 98 mm bei geschlossenem Leitungssystem ausgestattet 		

Beobachtungsphase/ Zuschaltung Druckspeicher

	Beobachtungsphase		Zuschaltung Druckspeicher	
	Zeit	p _{Packer} [MPa]	Zeit	p _{Packer} [MPa]
Beginn:	01.08.2013, 12:05	20,40	01.08.2013, 12:22	20,14
Ende:	01.08.2013, 12:21	19,17	02.08.2013, 08:49	19,67

Prüfungsdurchführung

Beginn der Prüfung:			Ende der Prüfung:			Bemerkungen:
Prüfungsdatum:	-	01.08.2013	Prüfungsdatum:	-	02.08.2013	
Prüfungsbeginn:	-	12:26	Prüfungsende:	-	08:49	
p _{Packer} :	MPa	20,14	p _{Packer} :	MPa	19,67	
p _{Stoß} :	MPa	-	p _{Stoß} :	MPa	-	
p _{Mitte} :	MPa	0,109	p _{Mitte} :	MPa	0,109	
p _{Sohle} :	MPa	-	p _{Sohle} :	MPa	-	
p _{Bohrung} :	MPa	0,428	p _{Bohrung} :	MPa	0,427	
p _{Druckluftflasche} :	MPa	-	p _{Druckluftflasche} :	MPa	-	
p _{Luft} :	hPa	1074,4	p _{Luft} :	hPa	1072,8	
Temperatur:	°C	33,4	Temperatur:	°C	33,8	

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03

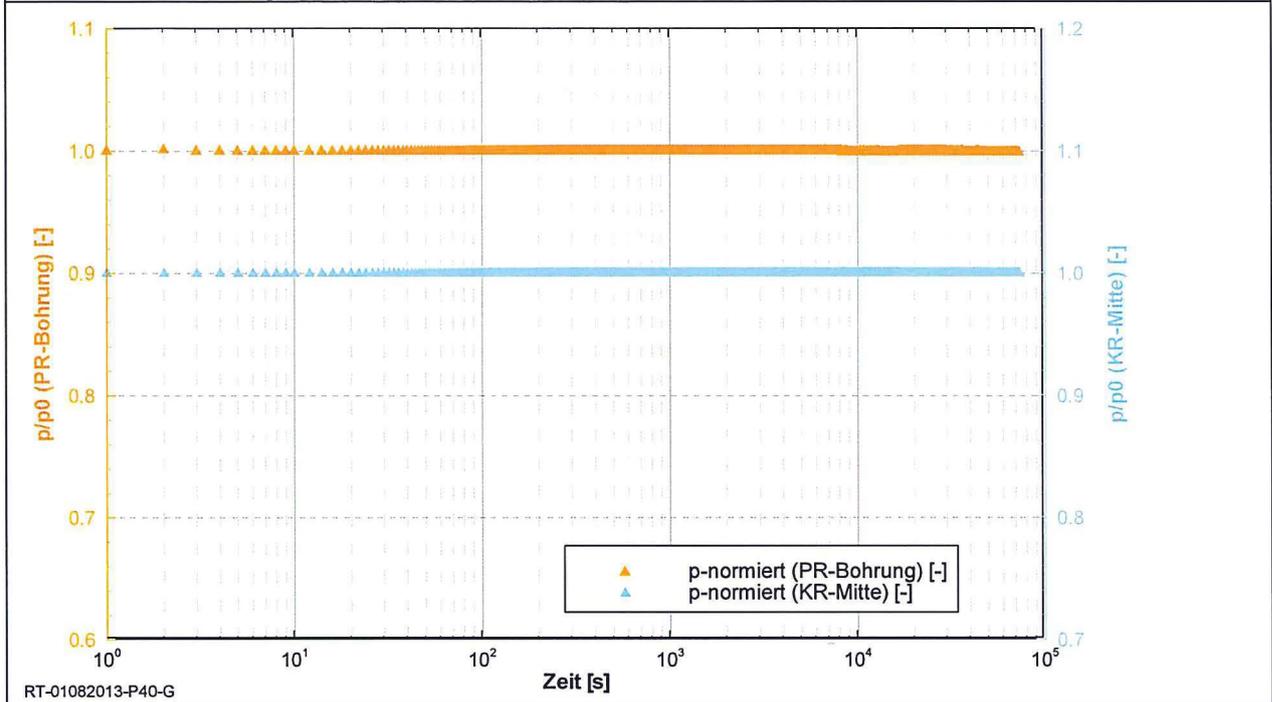


Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3

Blatt: 17

Ergebnisse

Versuchsauswertung



Auswertung: Nachweis hinreichender Dichtigkeit

Checkliste-Qualitätssicherung (Versuch)

Arbeitsprogramm / Anweisung	Test der Vorort-Dichtheit (Rohrtest)	Durchführung Beobachtungsphase	Zuschalten eines Druckspeichers	Messung von Fremdeinflüssen
JA	NEIN	JA	JA	JA

- k.A. – keine Angaben
- Packer – Packerelement (Hydraulikelement bzw. -zylinder)
- Stoß – bohrlochmundseitiges Testintervall
- Mitte – mittleres Testintervall
- Sohle – bohrlochsohlenseitiges Testintervall
- Bohrung – abgepackerte Bohrung als Testintervall

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 18

4.3.1.2 Dichtheitsprüfung – RT-29072013-P38P40-G

Allgemeine Angaben

Projekt:	Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3
Auftraggeber:	Asse-GmbH, Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II, Am Walde 2, 38319 Remlingen
Bearbeiter:	IBeWa-Ingenieurpartnerschaft, Lessingstr. 46, D-09599 Freiberg, Germany, Tel.: +49 3731 – 20735 0, Fax: +49 3731 - 20735 25, web: www.ibewa.de
Standort:	Faktenerhebung auf der 750-m-Sohle, Abbau 5/750 (Na2), Erkundungsbohrung B 7/750-A3 in Richtung der Einlagerungskammer 7/750

Prüfungsbedingungen

Prüfrohr:	Testrohr-100-A3	Packerausrüstung:	Zweifachpacker, 98-103 mm, Multi-PR (38)
Rohrdurchmesser [mm]:	100	Versuchsart:	Rohrtest (techn. Dichtheit)
Testbezeichnung:	RT-29072013-P38-G	Testfluid:	Druckluft, trocken [G]
Bearbeiter:		Sensorkonfiguration:	350/11a/4a/L/T
Datum:	29.07.2013	Leitungslänge [m]:	46
Beaufschlagung mit Prüfdruck:	Mitte	Messdatei:	RT-29072013-P38P40-G
Bemerkung:	<ul style="list-style-type: none"> - Nachweis hinreichender Dichtheit für Pneumatiksystem - Packer wurde nach der Messung mit einem anderen Prüfraumdistanzstück bei geschlossenem Leitungssystem ausgestattet 		

Beobachtungsphase/ Zuschaltung Druckspeicher

	Beobachtungsphase		Zuschaltung Druckspeicher	
	Zeit	p _{Packer} [MPa]	Zeit	p _{Packer} [MPa]
Beginn:	29.07.2013, 10:31	20,13	29.07.2013, 10:49	20,96
Ende:	29.07.2013, 10:46	18,20	30.07.2013, 09:13	17,58

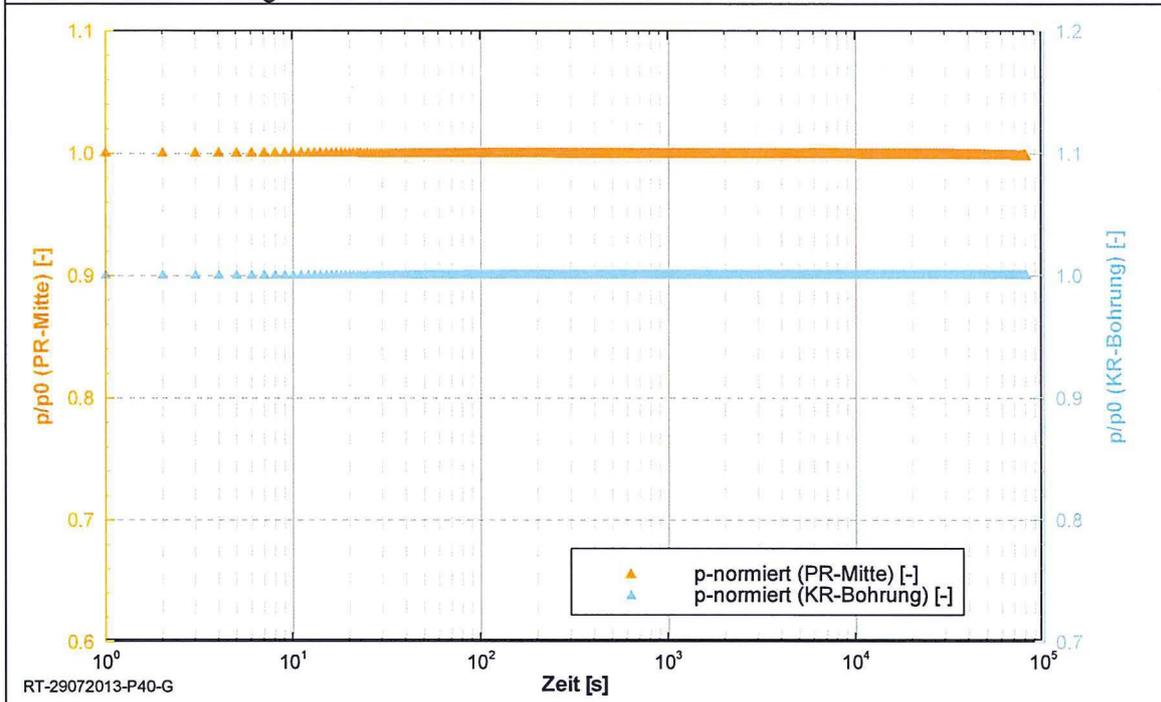
Prüfungsdurchführung

Beginn der Prüfung:			Ende der Prüfung:			Bemerkungen:
Prüfungsdatum:	-	29.07.2013	Prüfungsdatum:	-	30.07.2013	
Prüfungsbeginn:	-	10:49	Prüfungsende:	-	09:13	
p _{Packer} :	MPa	20,96	p _{Packer} :	MPa	17,58	
p _{Stoß} :	MPa	-	p _{Stoß} :	MPa	-	
p _{Mitte} :	MPa	0,793	p _{Mitte} :	MPa	0,791	
p _{Sohle} :	MPa	-	p _{Sohle} :	MPa	-	
p _{Bohrung} :	MPa	0,107	p _{Bohrung} :	MPa	0,108	
p _{Druckluftflasche} :	MPa	-	p _{Druckluftflasche} :	MPa	-	
p _{Luft} :	hPa	1072,0	p _{Luft} :	hPa	1074,9	
Temperatur:	°C	33,9	Temperatur:	°C	33,8	

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03

Ergebnisse

Versuchsauswertung



Auswertung: Nachweis hinreichender Dichtigkeit

Checkliste-Qualitätssicherung (Versuch)

Arbeitsprogramm / Anweisung	Test der Vorort-Dichtigkeit (Rohrtest)	Durchführung Beobachtungsphase	Zuschalten eines Druckspeichers	Messung von Fremdeinflüssen
JA	NEIN	JA	JA	JA

- k.A. - keine Angaben
- Packer - Packerelement (Hydraulikelement bzw. -zylinder)
- Stoß - bohrlochmundseitiges Testintervall
- Mitte - mittleres Testintervall
- Sohle - bohrlochsohlenseitiges Testintervall
- Bohrung - abgepackerte Bohrung als Testintervall

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	

Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3	Blatt: 20
--	-----------

4.3.2 Bestimmung der In-situ-Gaspermeabilität (Bohrlochpackertest)

4.3.2.1 MP A3-500-G1; Teufe: 5,00 m

Allgemeine Angaben

Projekt:	Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3
Auftraggeber:	Asse-GmbH, Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II, Am Walde 2, 38319 Remlingen
Bearbeiter:	IBeWa-Ingenieurpartnerschaft, Lessingstr. 46, D-09599 Freiberg, Germany, Tel.: +49 3731 – 20735 0, Fax: +49 3731 – 20735 25, web: www.ibewa.de
Standort:	Faktenerhebung auf der 750-m-Sohle, Abbau 5/750 (Na2), Erkundungsbohrung B 7/750-A3 in Richtung der Einlagerungskammer 7/750

Bohrung	B 7/750-A3	Versuch (Messpunkt)	A3-500-G1
Datum:	01.04.2013	Datum:	30.07.2013
Bohrführer:	Asse-GmbH	Bearbeiter:	
Bohransatzpunkt:	-	Teufe Mittelpunkt Prüfraum [m]:	5,00 ⁽⁵⁾
Ansatzpunkt:	RW: 4409204,65	Konturabstand [m]:	k.A.
	HW: 5777991,40	Packerausrüstung:	Zweifachpacker, 98-103 mm, Multi-PR (40)
	NN [m]: -543,29	Messfluid:	Druckluft, trocken [G]
Endpunkt:	RW: 4409202,32	Sensorkonfiguration:	350/11a/5a/L/T
	HW: 5777988,69	Leitungslänge [m]:	46
	NN [m]: -543,29	Geologische Einordnung:	K 2: Staßfurt-Folge (z2), Kaliflöz Staßfurt, nicht unterteilt
Bohrrichtung:	SW-Stoß	Petrografie:	-
Neigung [°]:	-3,6	Beaufschlagung m. Prüfdruck:	Mitte
Streichen [°]:	220,6	Versuchsart:	Impulstest
Bohrungslänge [m]:	23,20	Messdatei:	A3-500-G1
Durchmesser [mm]:	100		
Bemerkung:	-		
Begleitinformation:	-		

Erfolgreiche Prüfung der Vor-Ort-Dichtheit der Messausrüstung

Name Rohrtest:	RT-29072013-P38-G	Bemerkungen:
Datum Rohrtest:	29.07.2013	
Messdatei:	RT-29072013-P38-G	

Beobachtungsphase/ Zuschaltung Druckspeicher

	Beobachtungsphase		Zuschaltung Druckspeicher	
	Zeit	p _{Packer} [MPa]	Zeit	p _{Packer} [MPa]
Beginn:	30.07.2013, 11:30	20,60	30.07.2013, 11:45	20,20
Ende:	30.07.2013, 11:45	19,70	30.07.2013, 16:34	19,73
Bemerkungen:	Beobachtungsphase siehe A3-500-G			

⁽⁵⁾Mittelpunkt Prüfraum; Koordinaten der Bohrung beziehen sich auf Aussagen von Asse-GmbH.
Der Einbau der Packerapparatur wurde durch Mitarbeiter der Bohrabteilung Asse-GmbH durchgeführt.
Textblatt_REV08_Stand-2014-01-03

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 21

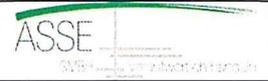
Versuchsbedingungen

Beginn des Versuchs			Ende des Versuchs			Bemerkungen:
Versuchsdatum:	-	30.07.2013	Versuchsdatum:	-	30.07.2013	
Versuchsbeginn:	-	15:38	Versuchsende:	-	16:34	
p _{Packer} :	MPa	19,80	p _{Packer} :	MPa	19,73	
p _{Stoß} :	MPa	-	p _{Stoß} :	MPa	-	
p _{Mitte} :	MPa	0,919	p _{Mitte} :	MPa	0,116	
p _{Sohle} :	MPa	-	p _{Sohle} :	MPa	-	
p _{Bohrung} :	MPa	0,108	p _{Bohrung} :	MPa	0,108	
p _{Druckluftflasche} :	MPa	-	p _{Druckluftflasche} :	MPa	-	
p _{Luft} :	hPa	1073,9	p _{Luft} :	hPa	1073,5	
Temperatur:	°C	34,0	Temperatur:	°C	34,2	



Abbildung 8: Bohrloch im Bereich des Messintervalls – Teufenangaben bezogen auf Kontur (nicht Standrohr)

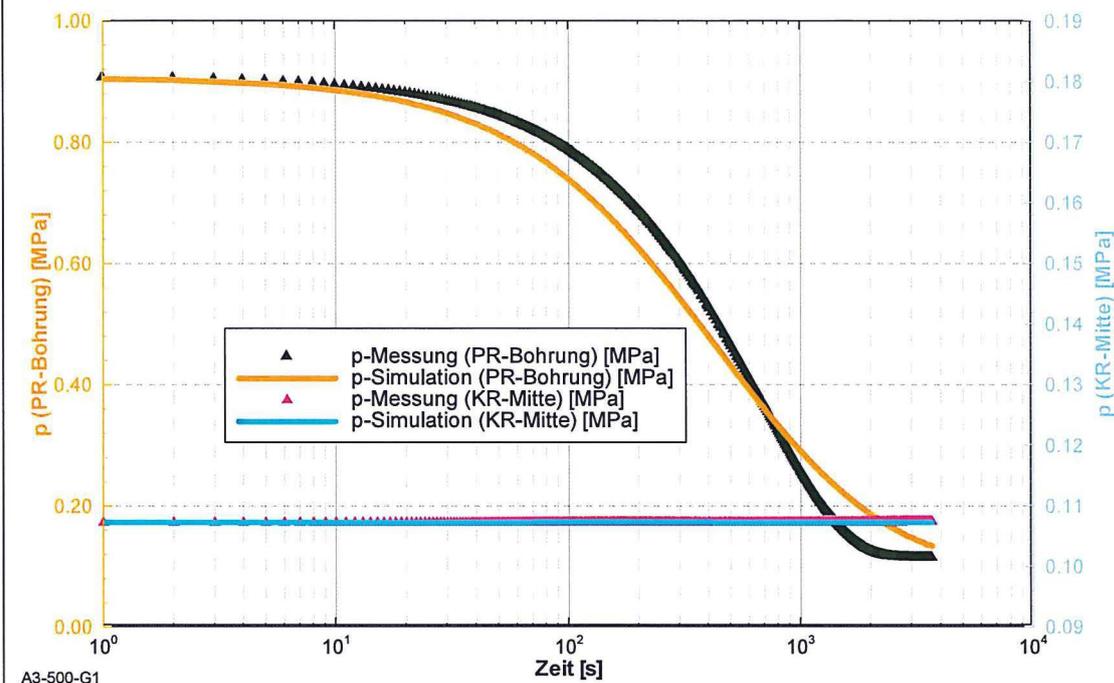
Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03



Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3

Blatt: 22

Versuchsauswertung



Permeabilität: 2,0E-16 m²

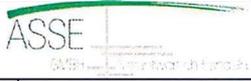
Checkliste-Qualitätssicherung (Bohrung)

Prüfung Bohrung / Bohrungsprotokolle	Kamerabefahrung	Kernansprache	Prüfung Ausblasen / Bohrungsverschluss
JA	JA	NEIN	JA

Checkliste-Qualitätssicherung (Versuch)

Arbeitsprogramm / Anweisung	Test der Vorort- Dichtheit (Rohrtest)	Durchführung Beobachtungsphase	Zuschalten eines Druckspeichers	Messung von Fremdeinflüssen
JA	JA	JA	JA	JA

- k.A. - keine Angaben
- Packer - Packerelement (Hydraulikelement bzw. -zylinder)
- Stoß - bohrlochmundseitiges Testintervall
- Mitte - mittleres Testintervall
- Sohle - bohrlochsohlenseitiges Testintervall
- Bohrung - abgepackte Bohrung als Testintervall

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	

Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3	Blatt: 23
--	-----------

4.3.2.2 MP A3-720-G; Teufe: 7,20 m

Allgemeine Angaben

Projekt:	Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3
Auftraggeber:	Asse-GmbH, Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II, Am Walde 2, 38319 Remlingen
Bearbeiter:	IBeWa-Ingenieurpartnerschaft, Lessingstr. 46, D-09599 Freiberg, Germany, Tel.: +49 3731 – 20735 0, Fax: +49 3731 – 20735 25, web: www.ibewa.de
Standort:	Faktenerhebung auf der 750-m-Sohle, Abbau 5/750 (Na2), Erkundungsbohrung B 7/750-A3 in Richtung der Einlagerungskammer 7/750

Bohrung	B 7/750-A3	Versuch (Messpunkt)	A3-720-G
Datum:	01.04.2013	Datum:	31.07.2013
Bohrführer:	Asse-GmbH	Bearbeiter:	
Bohransatzpunkt:	-	Teufe Mittelpunkt Prüfraum [m]:	7,20 ⁽⁶⁾
Ansatzpunkt:	RW: 4409204,65	Konturabstand [m]:	k.A.
	HW: 5777991,40	Packerausrüstung:	Zweifachpacker, 98-103 mm, Multi-PR (40)
	NN [m]: -543,29	Messfluid:	Druckluft, trocken [G]
Endpunkt:	RW: 4409202,32	Sensorkonfiguration:	350/11a/5a/L/T
	HW: 5777988,69	Leitungslänge [m]:	42,4
	NN [m]: -543,29	Geologische Einordnung:	K 2C/Na 2: Schichtgrenze in Staßfurt-Folge (z2), Schichtgrenze zw. Kaliflöz Staßfurt u. Steinsalz, nicht unterteilt
Bohrrichtung:	SW-Stoß	Petrografie:	-
Neigung [°]:	-3,6	Beaufschlagung m. Prüfdruck:	Mitte
Streichen [°]:	220,6	Versuchsart:	Impulstest
Bohrungslänge [m]:	23,20	Messdatei:	A3-720-G
Durchmesser [mm]:	100		
Bemerkung:	Koordinaten der Bohrungen beziehen sich auf Anfang Standrohr		
Begleitinformation	-		

Erfolgreiche Prüfung der Vor-Ort-Dichtheit der Messausrüstung

Name Rohrtest:	RT-29072013-P38-G	Bemerkungen:
Datum Rohrtest:	29.07.2013	
Messdatei:	RT-29072013-P38-G	

⁽⁶⁾Mittelpunkt Prüfraum; Koordinaten der Bohrung beziehen sich auf Aussagen von Asse-GmbH.
Der Einbau der Packerausrüstung wurde durch Mitarbeiter der Bohrabteilung Asse-GmbH durchgeführt.
Textblatt_REV08_Stand-2014-01-03

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	

Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3

Blatt: 24

Beobachtungsphase/ Zuschaltung Druckspeicher

	Beobachtungsphase		Zuschaltung Druckspeicher	
	Zeit	p _{Packer} [MPa]	Zeit	p _{Packer} [MPa]
Beginn:	31.07.2013, 09:23	20,17	31.07.2013, 09:45	19,68
Ende:	31.07.2013, 09:40	17,73	01.08.2013, 08:15	19,15
Bemerkungen:	-			

Versuchsbedingungen

Beginn des Versuchs			Ende des Versuchs			Bemerkungen:	
Versuchsdatum:	-	31.07.2013	Versuchsdatum:	-	01.08.2013		-
Versuchsbeginn:	-	09:55	Versuchsende:	-	08:15		
p _{Packer} :	MPa	19,67	p _{Packer} :	MPa	19,15		
p _{Stoß} :	MPa	-	p _{Stoß} :	MPa	-		
p _{Mitte} :	MPa	0,964	p _{Mitte} :	MPa	0,960		
p _{Sohle} :	MPa	-	p _{Sohle} :	MPa	-		
p _{Bohrung} :	MPa	0,107	p _{Bohrung} :	MPa	0,108		
p _{Druckluftflasche} :	MPa	-	p _{Druckluftflasche} :	MPa	-		
p _{Luft} :	hPa	1072,8	p _{Luft} :	hPa	1077,1		
Temperatur:	°C	34,1	Temperatur:	°C	33,8		



Abbildung 9: Bohrloch im Bereich des Messintervalls – Teufenangaben bezogen auf Kontur (nicht Standrohr)

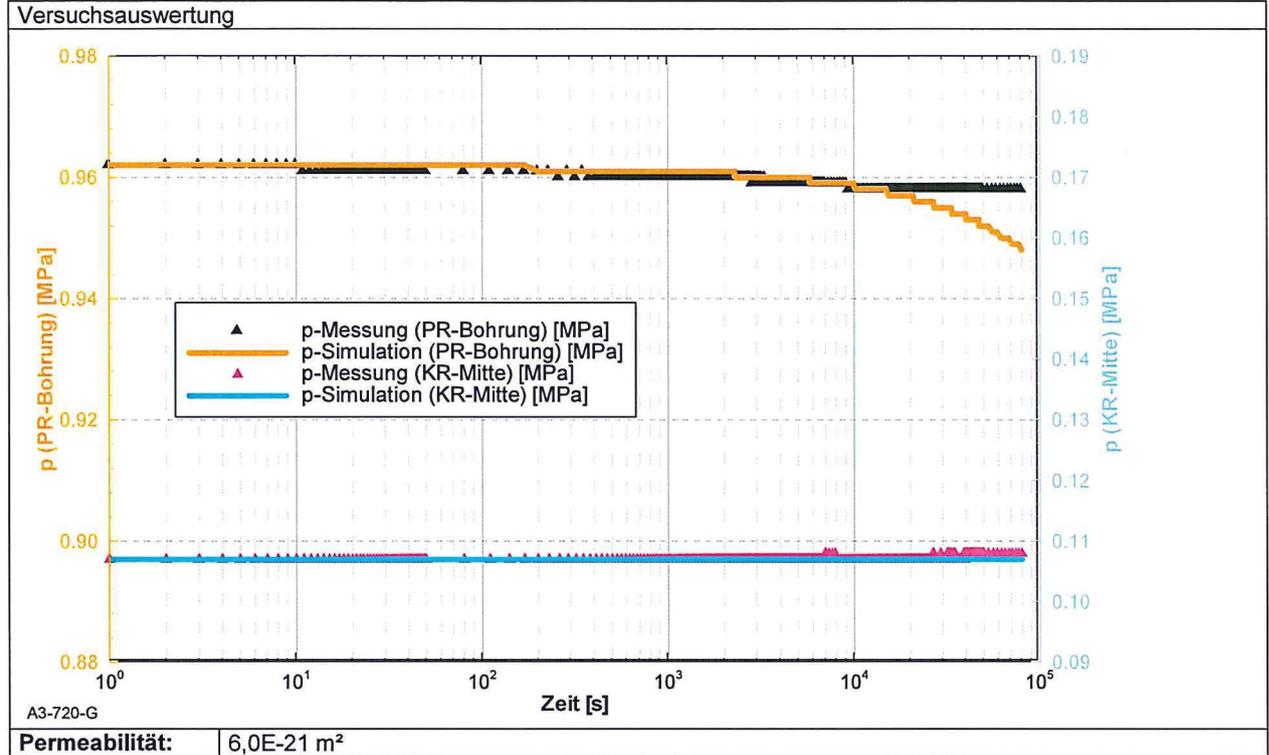
Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03



Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3

Blatt: 25

Ergebnisse



Checkliste-Qualitätssicherung (Bohrung)

Prüfung Bohrung / Bohrungsprotokolle	Kamerabefahrung	Kernansprache	Prüfung Ausblasen / Bohrungsverschluss
JA	JA	NEIN	JA

Checkliste-Qualitätssicherung (Versuch)

Arbeitsprogramm / Anweisung	Test der Vorort- Dichtheit (Rohrtest)	Durchführung Beobachtungsphase	Zuschalten eines Druckspeichers	Messung von Fremdeinflüssen
JA	JA	JA	JA	JA

- k.A. - keine Angaben
- Packer - Packerelement (Hydraulikelement bzw. -zylinder)
- Stoß - bohrlochmundseitiges Testintervall
- Mitte - mittleres Testintervall
- Sohle - bohrlochsohlenseitiges Testintervall
- Bohrung - abgepackte Bohrung als Testintervall

Projekt NNA	PSP-Element NNNNNNNNNN	Thema NNAANN	Aufgabe AA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	
Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3							Blatt: 26

4.3.2.3 MP A3-2308-G; Teufe: 23,00 m

Allgemeine Angaben

Projekt:	Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3
Auftraggeber:	Asse-GmbH, Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II, Am Walde 2, 38319 Remlingen
Bearbeiter:	IBeWa-Ingenieurpartnerschaft, Lessingstr. 46, D-09599 Freiberg, Germany, Tel.: +49 3731 – 20735 0, Fax: +49 3731 – 20735 25, web: www.ibewa.de
Standort:	Faktenerhebung auf der 750-m-Sohle, Abbau 5/750 (Na2), Erkundungsbohrung B 7/750-A3 in Richtung der Einlagerungskammer 7/750

Bohrung	B 7/750-A3	Versuch (Messpunkt)	A3-2308-G
Datum:	01.04.2013	Datum:	02.08.2013
Bohrführer:	Asse-GmbH	Bearbeiter:	
Bohransatzpunkt:	-	Teufe Beginn Prüfraum [m]:	23,00 ⁽⁷⁾
Ansatzpunkt:	RW: 4409204,65	Konturabstand [m]:	k.A.
	HW: 5777991,40	Packerausrüstung:	Zweifachpacker, 98-103 mm, Multi-PR (40)
	NN [m]: -543,29		
Endpunkt:	RW: 4409202,32	Messfluid:	Druckluft, trocken [G]
	HW: 5777988,69	Sensorkonfiguration:	350/5a/5a/L/T
	NN [m]: -543,29	Leitungslänge [m]:	46
Bohrrichtung:	SW-Stoß	Geologische Einordnung:	Steinsalzversatz: rezent/technogen, Steinsalzversatz, nicht unterteilt
Neigung [°]:	-3,6	Petrografie:	-
Streichen [°]:	220,6	Beaufschlagung m. Prüfdruck:	Bohrung
Bohrungslänge [m]:	23,20	Versuchsart:	Impulstest
Durchmesser [mm]:	100	Messdatei:	A3-2308-G
Bemerkung:	-		
Begleitinformation:	-		

Erfolgreiche Prüfung der Vor-Ort-Dichtheit der Messausrüstung

Name Rohrtest:	RT-01082013-P44-G	Bemerkungen:
Datum Rohrtest:	01.08.2013	
Messdatei:	RT-01082013-P44-G	

Beobachtungsphase/ Zuschaltung Druckspeicher

	Beobachtungsphase		Zuschaltung Druckspeicher	
	Zeit	p _{Packer} [MPa]	Zeit	p _{Packer} [MPa]
Beginn:	02.08.2013, 09:56	20,54	02.08.2013, 10:13	20,06
Ende:	02.08.2013, 10:13	18,88	02.08.2013, 10:51	19,95
Bemerkungen:	-			

⁷⁾ Beginn Prüfraum; Koordinaten der Bohrung beziehen sich auf Aussagen von Asse-GmbH.
Der Einbau der Packerausrüstung wurde durch Mitarbeiter der Bohrabteilung Asse-GmbH durchgeführt.
Textblatt_REV08_Stand-2014-01-03

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	

Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3

Blatt: 27

Versuchsbedingungen

Beginn des Versuchs			Ende des Versuchs			Bemerkungen:
Versuchsdatum:	-	02.08.2013	Versuchsdatum:	-	02.08.2013	
Versuchsbeginn:	-	10:15	Versuchsende:	-	10:51	
p _{Packer} :	MPa	20,08	p _{Packer} :	MPa	19,95	
p _{Stoß} :	MPa	-	p _{Stoß} :	MPa	-	
p _{Mitte} :	MPa	0,108	p _{Mitte} :	MPa	0,108	
p _{Sohle} :	MPa	-	p _{Sohle} :	MPa	-	
p _{Bohrung} :	MPa	0,186	p _{Bohrung} :	MPa	0,108	
p _{Druckluftflasche} :	MPa	-	p _{Druckluftflasche} :	MPa	-	
p _{Luft} :	hPa	1076,0	p _{Luft} :	hPa	1076,0	
Temperatur:	°C	34,2	Temperatur:	°C	34,3	

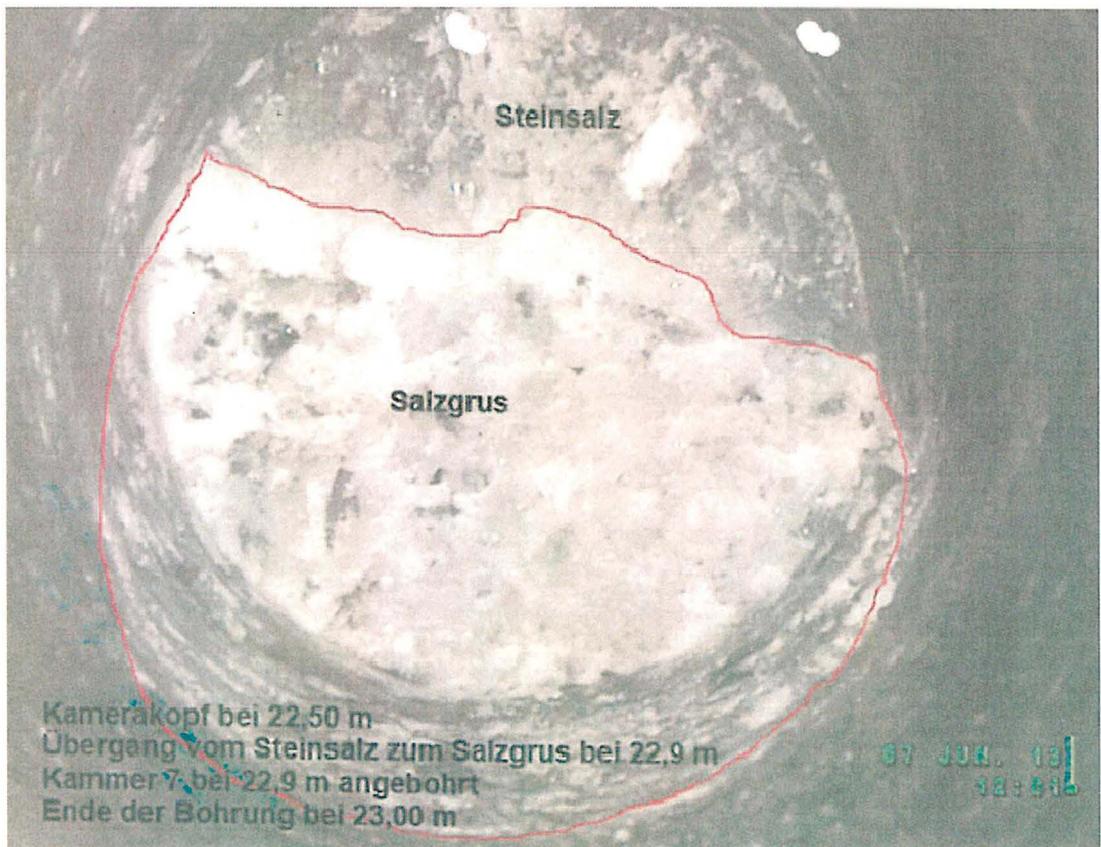
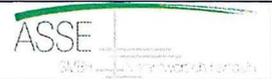


Abbildung 10: Bohrloch im Bereich des Messintervalls – Teufenangaben bezogen auf Kontur (nicht Standrohr)

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03

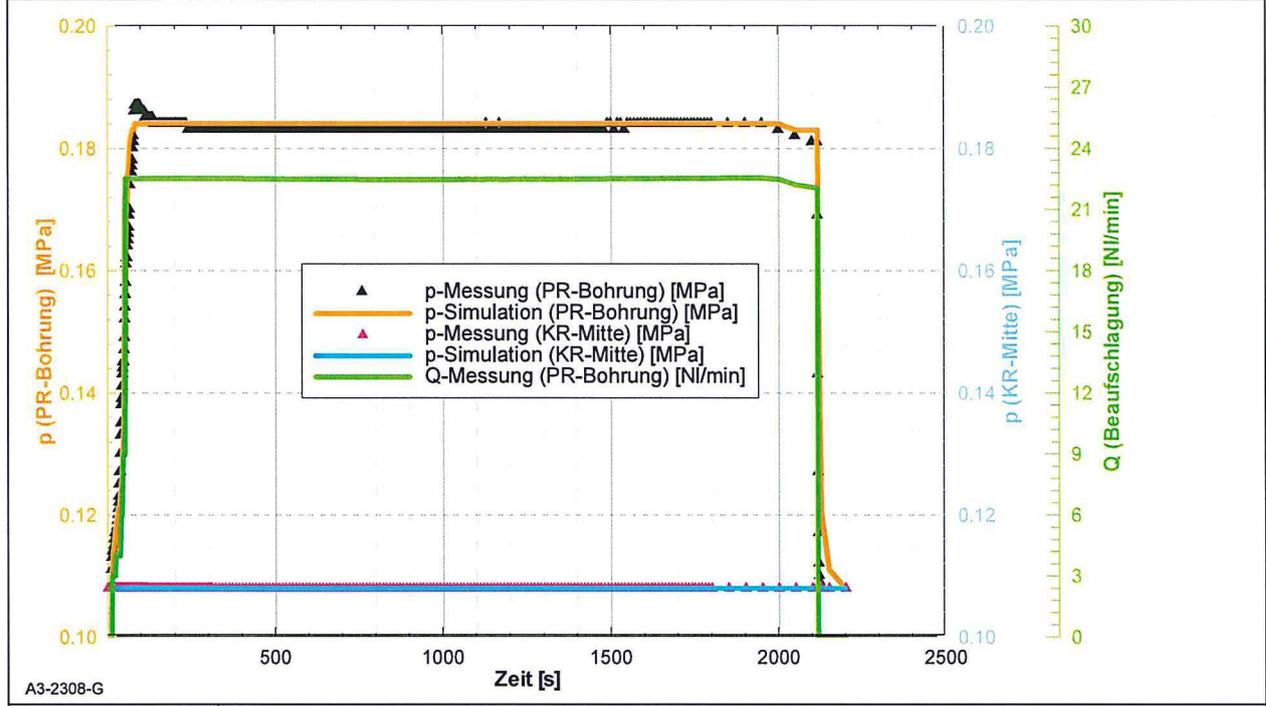


Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3

Blatt: 28

Ergebnisse

Versuchsauswertung



Permeabilität: 1,1E-12 m²

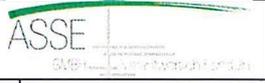
Checkliste-Qualitätssicherung (Bohrung)

Prüfung Bohrung / Bohrungsprotokolle	Kamerabefahrung	Kernansprache	Prüfung Ausblasen / Bohrungsverschluss
JA	JA	NEIN	JA

Checkliste-Qualitätssicherung (Versuch)

Arbeitsprogramm / Anweisung	Test der Vorort- Dichtheit (Rohrtest)	Durchführung Beobachtungsphase	Zuschalten eines Druckspeichers	Messung von Fremdeinflüssen
JA	JA	JA	JA	JA

- k.A. - keine Angaben
- Packer - Packerelement (Hydraulikelement bzw. -zylinder)
- Stoß - bohrlochmundseitiges Testintervall
- Mitte - mittleres Testintervall
- Sohle - bohrlochsohlenseitiges Testintervall
- Bohrung - abgepackerte Bohrung als Testintervall

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0002	03	

Faktenerhebung Schritt 1 - Erkundungsbericht Permeabilitätsmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3	Blatt: 29
--	-----------

5 Zusammenfassung

Im Zuge der Faktenerhebung wurde im Bereich der ELK 7/750 die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 gestoßen, die im Tiefsten die ELK 7/750 erreicht hat. Für die Charakterisierung der strömungstechnischen Eigenschaften des Gebirges im Bohrungsverlauf wurden In-situ-Permeabilitätsmessungen mit Gas durchgeführt. Die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 besitzt einen Durchmesser von ca. 100 mm und wurde mit einer Bohrlochlänge von 23,2 m mit einem leichten Einfallen von $-3,6^\circ$ in Richtung der Firste im Bereich des nordöstlichen Stoßes der ELK 7/750 gestoßen. Die Bohrung B 7/750-A3 ist im Bohrlochtiefsten durchschlägig zur ELK 7/750.

Über den Bohrungsverlauf wurde an drei Messpunkten die Gaspermeabilität des Gebirges ermittelt. Im Ergebnis der Permeabilitätsuntersuchungen wurden für den Carnallit im Teufenbereich ca. 4,80 m bis 5,19 m eine effektive Gaspermeabilität von $2,0E-16 \text{ m}^2$ bestimmt. Im Übergangsbereich von Carnallit zu Steinsalz bei einer Teufe von ca. 7,00 m bis 7,39 m wurde eine effektive Gaspermeabilität von $6,0E-21 \text{ m}^2$ nachgewiesen. Der Permeabilitätstest am Messpunkt 4 im Teufenbereich von 23,00 m bis zur durchschlägigen Endteufe der Bohrung bei ca. 23,20 m ergab mit $1,1E-12 \text{ m}^2$ eine deutlich erhöhte effektive Gaspermeabilität.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Cosenza, Ph.; Ghoreychi, M.; Bazargansabet, B. (1997): Mesure de la perméabilité In-situ du sel In-situ permeability measurement in salt. Revue Française de Géotechnique, Nr. 79 (1997).
- [2] Förster, S. (1969): Dichtheitsprüfung des Jüngeren Steinsalzes im Schacht Burggraf. Bergakademie Freiberg, Sektion Geotechnik und Bergbau, Lehrstuhl für Tiefbohrtechnik und Erdölgewinnung.
- [3] Förster, S. (1985): Gasdruckbelastbarkeit und Rissbildung der für die unterirdische Gasspeicherung bedeutsamen Salinargesteine des Zechsteins. Dissertation, Bergakademie Freiberg, Sektion Geotechnik und Bergbau; veröffentlicht. in: Leipzig : VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Freiburger Forschungsheft A 724.
- [4] Häfner, F.; Belohlavek, K.-U.; Förster, S.; Pohl, A.; Behr, A. (2001): In-situ Ermittlung von Strömungskennwerten natürlicher Salzgesteine in Auflockerungszonen gegenüber Gas und Salzlösungen unter den gegebenen Spannungsbedingungen im Gebirge. Abschlussbericht 2001, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau.
- [5] Häfner, F.; Förster, S.; Pohl, A.; Behr, A. (1998): Dichtheitsuntersuchungen der Ortsbrust EU, 1. Teilbericht zum BMBF- und TMLNU-geförderten Vorhaben, Förderkennzeichen 02 C 0527 6, In-situ-Ermittlung von Strömungskennwerten natürlicher Salzgesteine in Auflockerungszonen gegenüber Gas und Salzlösungen unter den gegebenen Spannungsbedingungen im Gebirge, April 1998.
- [6] Stormont, J.C. (1997a): Conduct and interpretation of gas permeability measurements in rock salt. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. Vol. 34, No 3-4, paper No. 303.
- [7] Stormont, J.C. (1997b): In-situ Gas Permeability Measurements to Delineate Damage in Rock Salt. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 34, No. 7, 1997.
- [8] Weber, J.R.; Wallner, M. (1998): Hydraulische Untersuchungen im Grubengebäude Morsleben. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.